



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

Offenlegungsschrift DE 100 15 305 A 1

51 Int. Cl. 7:
G 01 S 5/10

21 Aktenzeichen: 100 15 305.4
22 Anmeldetag: 28. 3. 2000
43 Offenlegungstag: 4. 10. 2001

DE 100 15 305 A 1

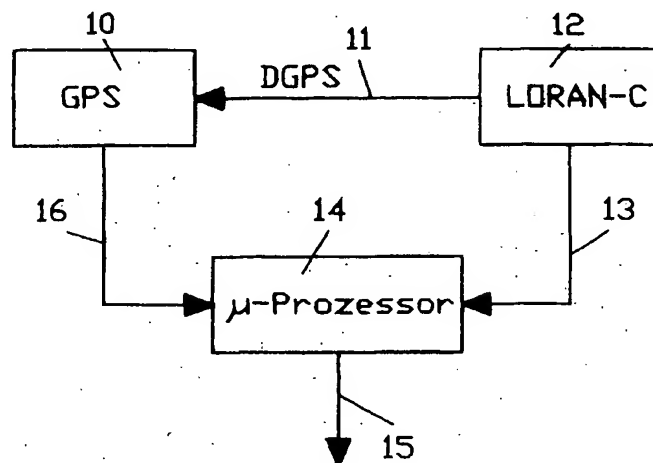
71 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:
Tanneberger, Volkmar, Dr., 31139 Hildesheim, DE;
Kuegler, Dirk, Dr., 63303 Dreieich, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Vorrichtung und Verfahren zur Positionsbestimmung

57 Bei einem Verfahren zur Positionsbestimmung werden die Signale von Sendern aus einem bodengestützten System wie zum Beispiel dem LORAN-C-System und aus einem satellitengestützten System wie zum Beispiel dem GPS-System kombiniert. Dabei können entweder die in beiden Systemen getrennt ermittelten Positionen zu einer Positionsbestimmung kombiniert werden, oder es werden die aus beiden Systemen empfangenen Rohdaten gemeinsam ausgewertet. Die Positionsbestimmung mit Hilfe präziseren Subsystems (GPS) wird vorzugsweise als Referenz für die Positionsbestimmung mit dem weniger präzisen Subsystem (LORAN-C) benutzt, um die Genauigkeit des letzteren zu erhöhen. Weiterhin können durch einen Vergleich der berechneten Positionsbestimmung mit einem bekannten Referenzort Korrektursignale (11) berechnet und im System der Sender mit übermittelt werden, mit deren Hilfe die Präzision der Positionsbestimmung gesteigert werden kann. Vorzugsweise findet dabei eine Übermittlung von DGPS-Daten (11) über die Signale eines LORAN-C-Systems statt.



DE 100 15 305 A 1

Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Positionsbestimmung mit Hilfe der Laufzeitunterschiede von Signalen, die von einer Gruppe von Sendern bekannter Positionen zu bekannten Zeiten ausgesandt werden.

Stand der Technik

[0002] Verfahren zur Positionsbestimmung der eingangs genannten Art sind zum Beispiel das sogenannte Global Positioning System (GPS), das russische GLONASS System (Global Orbiting Navigation Satellite System) und das LORAN-C System (LOng RANge Navigation). Hierbei handelt es sich um Netze mit ursprünglich rein militärischer Nutzung, welche in den vergangenen Jahren auch für eine zivile Anwendung zur Verfügung gestellt wurden.

[0003] Das GPS-System erlaubt dabei grundsätzlich eine Positionsbestimmung mit sehr hoher Präzision. Da es allerdings auf Signalen mit einer Trägerfrequenz im Mikrowellenbereich beruht, ist ein Sichtkontakt des Benutzers zu mindestens vier Satelliten erforderlich. Diese Bedingung kann jedoch oft nicht eingehalten werden, wenn sich der Benutzer zum Beispiel in Gebäuden, in Häuserschluchten oder in Bereichen mit dichtem Pflanzenbewuchs befindet. Außerdem wird die zivile Nutzung des GPS-Systems dadurch erschwert, dass von den Betreibern der Satelliten gezielt Fehler in die Signale eingefügt werden, um die Präzision der Positionsbestimmung bei öffentlichen Nutzern zu begrenzen und die maximal erreichbare Präzision der militärischen Nutzung vorzubehalten. Zur Behebung des zuletzt genannten Problems ist es bekannt, dass ortsfeste Stationen am Boden mit genau bekannter Position Korrekturdaten ausrechnen (sogenanntes "Differential GPS", DGPS) mit deren Hilfe die fehlerbehafteten GPS-Positionsbestimmungen korrigiert werden können. Damit können auch zivile Nutzer eine höhere Präzision der Positionsbestimmung erreichen. Die genannten DGPS-Signale werden derzeit jedoch nur in begrenzten Regionen und für geschlossene Benutzergruppen zur Verfügung gestellt.

[0004] Das LORAN-C-Netzwerk besteht aus einer Kette von festen Sendestationen am Boden, von welchen Signale im Langwellenbereich ausgesendet werden. Diese Signale setzen aufgrund ihrer Ausbreitungseigenschaften zwar nicht unbedingt einen Sichtkontakt des Benutzers zur Sendequelle voraus, jedoch ist die Versorgung mit derartigen Signalen nicht flächendeckend, so dass nicht an jedem Ort der Erde eine Positionsbestimmung mit einem derartigen System möglich ist.

Darstellung der Erfindung, Aufgabe, Lösung, Vorteile

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung war es, eine Vorrichtung und ein Verfahren der eingangs genannten Art derart zu verbessern, dass eine möglichst flächendeckende, weltweite Positionsbestimmung auch in unzugänglichen Umgebungen mit großer Präzision möglich ist.

[0006] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den in Anspruch 1 genannten Merkmalen gelöst.

[0007] Das Verfahren zur Positionsbestimmung arbeitet dabei auf der Basis von Laufzeitunterschieden von Signalen, bei denen es sich vorzugsweise um elektromagnetische Wellen handeln kann. Die Signale werden von einer Gruppe von Sendern mit bekannten Positionen zu bekannten Zeiten ausgesandt, so dass aus den Zeitpunkten des Eintreffens al-

ler oder eines Teils der Signale beim Empfänger beziehungsweise aus den Laufzeiten dieser Signale zum Empfänger die Position des Empfängers im Raum berechnet werden kann. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass zu der Gruppe der Sender sowohl Sender am Boden als auch Sender auf Satelliten gehören. Bei den Satelliten handelt es sich dabei vorzugsweise um geostationäre Satelliten.

[0008] Durch die Kombination von Sendern am Boden und im Weltraum werden gegenüber den bekannten Systemen mit Sendern, die entweder nur im Weltraum oder nur am Boden angeordnet sind, verschiedene Vorteile erzielt. Zum einen erhöht sich (bei der Kombination bestehender bodengestützter beziehungsweise bestehender satellitengestützter Systeme) die Anzahl der zur Verfügung stehenden Sender, so dass allein aus diesem Grunde auf einer größeren Fläche die notwendige Mindestanzahl von Sendern zur Positionsbestimmung zur Verfügung steht. Darüber hinaus steigt auch die Präzision der Positionsbestimmung mit zunehmender Anzahl der an einem Ort empfangbaren Sender. Aufgrund der Beteiligung von auf Satelliten befindlichen Sender wird dabei eine große Flächendeckung gewährleistet. Weiterhin machen sich vorteilhafte Synergieeffekte bemerkbar, wenn es Teilgruppen unter den Sendern gibt, mit denen jeweils eine Positionsbestimmung verschiedener Präzision möglich ist. Dabei können die Signale von den Sendern, die eine höhere Präzision der Positionsbestimmung erlauben, verwendet werden, um das Ergebnis der Berechnungen aus den Signalen der Sender geringerer Präzision zu verbessern. In Situationen, in denen dann nur Sender geringerer Präzision zur Verfügung stehen, kann deren effektive Präzision mit Hilfe der früheren präziseren Messungen verbessert werden.

[0009] Gemäss Anspruch 2 senden die am Boden befindlichen Sender vorzugsweise elektromagnetische Signale im Langwellenbereich aus. Hierbei kann es sich insbesondere um den Bereich von ca. 50 bis 500 kHz, besonders bevorzugt 80 bis 120 kHz, handeln. Derartige Signale haben den Vorteil, dass sie in einem gewissen Ausmaß Bodenkonturen folgen, so dass sie auch in nicht direkt zugänglichen Umgebungen empfangen werden können. Das oben erwähnte LORAN-C System arbeitet mit bodengestützten Sendern in einem derartigen Frequenzbereich.

[0010] Gemäss Anspruch 3 senden die auf Satelliten befindlichen Sender vorzugsweise elektromagnetische Signale im Mikrowellenbereich. Dabei kann es sich vorzugsweise um den Bereich von 500 bis 6000 MHz, besonders bevorzugt 1000 bis 2000 MHz, handeln. Derartige Signale breiten sich im wesentlichen geradlinig aus, so dass sie für den Empfang einen direkten Sichtkontakt zwischen Empfänger und Sender voraussetzen. Das eingangs genannte GPS-System arbeitet mit satellitengestützten Sendern in einem derartigen Frequenzbereich.

[0011] Bei einer Weiterentwicklung der Erfindung gemäss Anspruch 4 wird für mindestens einen Referenzort bekannter Position aus Signalen von (allen oder einigen) Sendern der Gruppe der Sender zunächst die Position des Referenzortes berechnet. Sodann wird die Positionsdivergenz zwischen der so berechneten Position und der bekannten tatsächlichen Position des Referenzortes bestimmt, und schließlich wird dem Signal mindestens eines Senders der Gruppe von Sendern eine Information hinzugefügt, welche eine Korrektur der Positionsdivergenz erlaubt. Das heißt, dass das Verfahren zur Positionsbestimmung am Referenzort überprüft wird und dass in Abhängigkeit vom Ergebnis der Überprüfung Informationen ausgesendet werden, die an anderen Orten eine Korrektur der Positionsbestimmung erlauben. Auf diese Weise können systematische Fehler bei der Positionsbestimmung reduziert beziehungsweise nach-

träglich, ausgeglichen werden. Zugunsten findet ein derartiger Vergleich von gemessenen Positionen mit tatsächlichen (bekannten) Positionen an mehreren Referenzorten verteilt über die Erde statt, wobei die von den jeweiligen Referenzorten zur Verfügung gestellte Korrekturinformation dann nur in einem lokalen Bereich um den jeweiligen Referenzort herum Gültigkeit hat. Ein derartiges Verfahren gemäss Anspruch 4 besitzt also eine Selbstkontrolle, mit deren Hilfe die Präzision der Positionsbestimmung erhöht werden kann. Bei Integration des eingangs genannten GPS-Systems in ein derartiges Verfahren kann das Korrektursignal insbesondere das oben genannte DGPS-Signal sein, welches dann über (mindestens) einen Sender der Gruppe der Sender zur Verfügung gestellt wird. Insbesondere kann das Korrektursignal von einem bodengestützten Sender im Langwellenbereich ausgesandt werden, wobei es sich zum Beispiel um einen zum LORAN-C-System gehörenden Sender handeln kann.

[0012] Bei einer Weiterentwicklung der Erfindung gemäss Anspruch 5 wird bei der aktuellen Positionsbestimmung die Positionsbestimmung zu mindestens einem zurückliegenden Zeitpunkt berücksichtigt. Auf diese Weise können zum einen zufallsbedingte Schwankungen im Ergebnis der Positionsbestimmung reduziert werden, da sie sich im Wege einer zeitlichen Mittelwertbildung gegenseitig aufheben. Darüber hinaus ist es möglich, dass bei einer veränderlichen Empfangbarkeit von Signalen der Ausfall solcher Sender, deren Signale eine hohe Präzision der Positionsbestimmung erlauben, in Grenzen ausgeglichen werden kann. Dies geschieht, indem die nachfolgenden Positionsbestimmungen mit Signalen von Sendern geringerer Präzision ausgehend von dem zuletzt bestimmten Wert maximaler Präzision erfolgen. Zu diesem Zweck ist es bevorzugt, dass die Positionsbestimmungen der zurückliegenden Zeitpunkte mit einem um so größeren Gewicht berücksichtigt werden, je kürzer der jeweilige Zeitpunkt zurückliegt und/oder je präziser die Positionsbestimmung zu dem in Rede stehenden zurückliegenden Zeitpunkt war. Das Verfahren enthält somit eine Art Selbstkalibrierung, welche auf den Positionsbestimmungen maximaler Präzision beruht.

[0013] Nach Anspruch 6 gehört zur Erfindung weiterhin eine Vorrichtung zur Durchführung des oben genannten Verfahrens, welche folgende Elemente enthält:

- mindestens einen ersten Empfänger für die Signale einer ersten Teilgruppe der Sender;
- mindestens einen zweiten Empfänger für die Signale einer zweiten Teilgruppe der Sender;
- eine Datenverarbeitungseinheit zur Bestimmung der Position aus den vom ersten und/oder zweiten Empfänger übermittelten Daten.

[0014] Mit einer derartigen Vorrichtung ist es möglich, Signale von Sendern aus verschiedenen Systemen über einen jeweils dafür ausgebildeten Empfänger zu empfangen. So kann zum Beispiel der erste Empfänger Signale aus dem GPS-System empfangen, während der zweite Empfänger dem LORAN-C-System zugeordnet ist. In der Datenverarbeitungseinheit werden dann die empfangenen Signale zusammengeführt und kombiniert, wobei sowohl eine Kombination von jeweils unabhängig voneinander bestimmten Positionsdaten als auch von Rohdaten möglich ist. Die Kombination von Rohdaten hat den Vorteil, dass nicht aus jeder der beiden Teilgruppen der Sender eine Mindestanzahl von Sendern ausreichend gut empfangen werden muss, um zwei unabhängige Positionsbestimmungen zu erlauben. Vielmehr reicht es, wenn die aus beiden Teilgruppen zusammengeordnete Gesamtzahl der Sender ausreicht, um eine kombinierte

Positionsbestimmung durchzuführen. Dabei kann auch der Fall eintreten, dass aus einer Teilgruppe überhaupt kein Sender empfangen wird.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0015] Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen mit Hilfe der Figuren erläutert. Es zeigen:

[0016] Fig. 1 das Prinzip des erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0017] Fig. 2 das erfindungsgemäße Verfahren bei Kombination von Positionsdaten aus zwei Systemen;

[0018] Fig. 3 das erfindungsgemäße Verfahren bei Kombination von Rohdaten aus zwei Systemen.

Bester Weg zur Ausführung der Erfindung

[0019] Mit der zunehmenden Verbreitung von Verkehrstelematik- und Navigationsgeräten in Kraftfahrzeugen gewinnt die Ortungs-Funktionalität immer mehr an Bedeutung. Verstärkt kommen hierbei Ortungsempfänger für das NAVSTAR Global Positioning System (GPS) zum Einsatz, die durch Laufzeitmessungen zu mindestens vier GPS-Satelliten eine dreidimensionale Positionsbestimmung erlauben. Im Sinne einer hohen Systemintegrität wird für diese Empfänger eine möglichst hohe Positionsgenauigkeit und Verfügbarkeit gefordert.

[0020] Besonders im innerstädtischen Bereich ("urban canyon") und auf Straßen unter dichtem Laubbewuchs (Landstraßen, Alleen) tritt bisher mangels Sichtkontakt zu einer ausreichenden Anzahl von Satelliten eine deutliche Reduktion der Verfügbarkeit der GPS-Positionsdaten auf, die in einigen Applikationen (z. B. Navigationssysteme, sicherheitskritische Verkehrstelematik-Dienste) die Verwendung zusätzlicher Sensorik und eine niedrige Priorisierung der GPS-Information erforderlich macht. Um die Wettbewerbsfähigkeit zukünftiger Navigations- und Verkehrstelematiksysteme zu sichern, ist eine deutliche Reduzierung der Systemkosten erforderlich. In diesem Sinne wird eine wesentliche Reduzierung der erforderlichen Sensorik angestrebt, was eine höhere Priorisierung des GPS-Sensors und damit auch erhöhte Anforderungen an die Genauigkeit und an die Verfügbarkeit der GPS-Positionsausgaben bedeutet.

[0021] Ein bekanntes Verfahren zur Erhöhung der Genauigkeit der GPS-Positionsdaten stellt das Differential GPS (DGPS) dar, bei dem von einer stationären Referenzstation mit bekannter Position Korrekturwerte für die empfangenen Satelliten berechnet und in Echtzeit über eine Telemetrie-Verbindung an die mobilen Nutzer übermittelt werden. Durch Berücksichtigung dieser Korrekturwerte in der Navigationslösung der mobilen Empfänger können alle korrelierten Fehler (d. h. die im Überdeckungsbereich der Referenzstation konstanten Fehler) eliminiert und damit die Genauigkeit der GPS-Position des mobilen Nutzers deutlich gesteigert werden. Bisher wird das DGPS-Verfahren überwiegend für geodätische Zwecke eingesetzt, wobei die Referenzstation von dem Nutzer bzw. den Nutzergruppen lokal betrieben wird. Ein europaweit flächendeckender DGPS-Service, der für eine Anwendung des DGPS-Verfahrens in Massenanwendungen erforderlich wäre, ist bisher nicht verfügbar. [0022] Das LORAN-C (Long Range Navigation) System geht auf eine Entwicklung des United States Department of Defense zurück und ist 1974 nach nahezu 20-jähriger rein militärischer Nutzung auch den zivilen Nutzern zur Verfügung gestellt worden. Es handelt sich um ein zweidimensionales Langwellennavigationssystem (Frequenz 100 kHz) mit einer Reichweite je Sendestation von ca. 1000 NM für

die Bodenwelle. Das System wurde ursprünglich als Navigationssystem für die Marine vorgesehen. Zur Zeit gibt es weltweit 21 LORAN-C Ketten, wobei der westeuropäische Raum von 4 Ketten mit insgesamt 9 Stationen überdeckt wird. 1992 wurde eine Vereinbarung zwischen sechs europäischen Ländern (Dänemark, Irland, Frankreich, Norwegen, Niederlande und Deutschland) zum Ausbau und Betrieb eines zivilen und kostenfreien LORAN-C Systems getroffen (NELS North European LORAN-C System).

[0023] EUROFIX stellt ein an der TU Delft, Niederlande, entwickeltes System dar, bei dem Daten durch Phasenmodulation über das LORAN-C Signal übertragen werden können.

[0024] Die vorliegende Erfindung beruht auf einem Empfängerkonzept, das durch eine enge Verknüpfung der GPS- und LORAN-C-Signalverarbeitung sowohl die Genauigkeit als auch die Verfügbarkeit der resultierenden Positionsausgabe gegenüber einem herkömmlichen GPS-Empfänger deutlich verbessert.

[0025] Fig. 1 zeigt die grundsätzliche Verknüpfung eines GPS-Empfängers 10 und eines LORAN-C Empfängers 12. Mit den aus isolierten Anwendungen bekannten Verfahren werden sowohl im GPS-Empfänger 10 als auch im LORAN-C Empfänger 12 die für eine Navigationslösung erforderlichen Daten gewonnen, über Datenleitungen 13 (LORAN-C) bzw. 16 (GPS) an einen Mikroprozessor 14 weitergeleitet und dort zu einer kombinierten Positionslösung 15 verarbeitet.

[0026] Gleichzeitig werden die dem LORAN-C Signal aufmodulierten DGPS-Daten, die von einer Referenzstation mit exakt bekannter Position bestimmt und vorzugsweise über einen Phasenmodulator gemäß dem EUROFIX-System senderseitig auf das LORAN-C Signal moduliert wurden, vom LORAN-C Empfänger 12 demoduliert und dem GPS-Empfänger 10 über die Datenleitung 11 zur Fehlerkorrektur der Laufzeitmessungen zu den GPS-Satelliten zugeführt.

[0027] Der Empfang und die Verarbeitung von DGPS-Daten in dem kombinierten Empfänger steigert die Genauigkeit der GPS-Navigationsdaten und damit auch der kombinierten Positionslösung gegenüber herkömmlichen GPS-Empfängern. Die kombinierte Verarbeitung der Navigationsdaten von GPS und LORAN-C liefert dagegen eine erhöhte Verfügbarkeit der Positionsausgabe, da zum einen durch die gemeinsame Verarbeitung von GPS- und LORAN-C-Signalen die Anzahl der für eine Positionsbestimmung verwendbaren Signale steigt, zum anderen durch die verschiedenen Frequenzbänder der Trägerfrequenzen und den damit verbundenen Unterschieden in dem Ausbreitungsverhalten der Signale teilweise konträre Verfügbarkeiten von GPS- bzw. LORAN-C-Signalen vorliegen. So besteht im GPS System wegen der gewählten Satellitenkonstellation grundsätzlich eine weltweite Verfügbarkeit von mindestens vier Satellitensignalen, aufgrund der Trägerfrequenz im Mikrowellenbereich (1575,42 MHz) und der damit verbundenen geradlinigen Wellenausbreitung ist der Nutzer jedoch auf direkten Sichtkontakt zu den Satelliten angewiesen, was gerade in schwierigen topographischen Umgebungen und in innerstädtischen Bereichen zu häufigen Signalabschattungen führt. Das LORAN-C System weist dagegen durchaus Bedeckungslücken auf, in denen weniger als die für eine LORAN-C Hyperbel-Navigationslösung erforderlichen 3 Sender empfangen werden. Aufgrund der Signalfrequenz im Langwellenbereich (100 kHz) folgt die Bodenwelle des LORAN-C Signals in einem gewissen Umfang künstlichen und natürlichen Konturen im Ausbreitungsweg, so dass auch in schwierigen Empfangsumgebungen (Innenstadt, Gebirge) ein Signalempfang möglich ist.

[0028] Die Verknüpfung der GPS-Daten und der LORAN-

C-Daten kann auf Basis von Positionsdaten oder auf Basis von Rohdaten erfolgen. Bei einer Verknüpfung der LORAN-C- und GPS-Positionsdaten werden aus den unterschiedlichen Empfangssignalen in den jeweiligen Empfängern 10, 12 nach bekannten Verfahren jeweils eine LORAN-C- und eine GPS-Position bestimmt, die in einem nachfolgenden Prozess verknüpft werden. Bei dieser losen Systemverkopplung müssen in jedem Subsystem die für eine Positionslösung mindestens erforderliche Anzahl an Empfangssignalen empfangen werden.

[0029] Fig. 2 beschreibt die Verknüpfung von GPS und LORAN-C auf Basis von Positionsdaten. Der LORAN-C Empfänger 12 berechnet bei 19 aus den LORAN-C Rohdaten eine Position POS1(T1) zum Zeitpunkt T1, während der GPS-Empfänger 10 aus den GPS Rohdaten unter Berücksichtigung des DGPS-Signals 11 eine Position POS2(T2) zum Zeitpunkt T2 berechnet. Die Bestimmung der LORAN-C Position kann dabei entweder im konventionellen Differenzlaufzeitverfahren (Hyperbelnavigation) oder aber auch durch Bestimmung der Schrägentfernungen zu verschiedenen Sendestationen (Rho-Rho-Mode) bestimmt werden. Da die Erfassung der Rohdaten und die daraus resultierende Berechnung der Positionsdaten unsynchronisiert zwischen den beiden Subsystemen erfolgt, müssen die Rohdaten des höherfrequenten Prozesses, in diesem Fall die LORAN-C Rohdaten, auf den Referenzzeitpunkt T2 der Positionsdaten des niederfrequenten Prozesses, in diesem Fall die GPS Positionsdaten, extrapoliert werden (ROH1(T2) in Feld 19), so dass daraus LORAN-C Positionsdaten POS1(T2) zum Referenzzeitpunkt T2 bestimmt werden können.

[0030] Durch einen Vergleich bzw. eine Differenzbildung der GPS- und LORAN-C-Positionen zum Zeitpunkt T2 wird in Schritt 21 eine Kalibrierungsgröße A für die LORAN-C Positionen berechnet, so dass die LORAN-C Position mit einer den GPS-Positionsdaten vergleichbaren Genauigkeit vorliegt.

[0031] An der Stelle 22 wird eine Kalibrierung der LORAN-C Positionen auf die GPS-Positionen vorgesehen, da durch die Verwendung von DGPS-Korrekturdaten die GPS-Positionen um mindestens eine Größenordnung genauer sind als die LORAN-C Positionen. Bei der Kalibrierung kann eine sogenannte Graceful Degradation vorgesehen werden, durch die der Einfluss der Kalibrierungsgröße bei langen GPS-Ausfällen langsam reduziert und somit ein integraler Kalibrierungsfehler verhindert wird.

[0032] Ist bei der Abfrage 23 eine GPS Position POS2 verfügbar, so wird diese in Schritt 24 von dem kombinierten GPS/LORAN-C Empfänger ausgegeben. Der LORAN-C Empfänger 12 wird in diesem Fall nur für den Empfang und die Demodulierung der DGPS-Daten 11 benötigt. Liegt kein GPS-Empfang, jedoch LORAN-C Empfang vor, so wird die auf die letzte verfügbare (D)GPS-Positionslösung kalibrierte LORAN-C Position POS1 in Schritt 25 ausgegeben. Es ist denkbar, dass in diesem Fall die LORAN-C Positionsdaten synchronisiert auf die Empfangszeitpunkte der LORAN-C Rohdaten (T1) ausgegeben werden oder synchronisiert und damit extrapoliert auf die hochgerechneten Empfangszeitpunkte der GPS-Rohdaten (T2). In dem Fall einer Synchronisation auf die GPS-Empfangszeitpunkte muss eine Echtzeituhr im Empfänger verfügbar sein, mit deren Hilfe man auch bei fehlendem GPS-Empfang die hypothetischen Empfangszeitpunkte der GPS Rohdaten berechnen kann.

[0033] Gemäß Fig. 3 ist eine weitere Performancesteigerung durch eine Verknüpfung der GPS- und LORAN-C-Empfänger auf Rohdatenbasis zu erzielen. In diesem Fall werden die Rohdaten beider Systeme zusammengeführt und für eine gemeinsame Lösung einer Positionsgleichung be-

nutzt, ohne dass eine getrennte eigenständige dreidimensionale Positionslösung der beiden Systeme verfügbar sein muss. Fig. 3 zeigt den grundsätzlichen Ablauf der Kombination des GPS-Empfängers 10 und LORAN-C-Empfängers 12 auf Rohdatenbasis. Die LORAN-C Rohdaten ROH1(T1) werden in Schritt 26 gespeichert und auf die Empfangszeitpunkte T2 der GPS-Rohdaten (niedrigerfrequenterer Prozess) extrapoliert (ROH1 (T2)). Aus diesen synchronisierten Rohdaten ROH1 (T2) und ROH2(T2) werden in Schritt 27 die unbekannten Variablen der Nutzerposition POS(T2) bestimmt. Werden mit dem LORAN-C Empfänger 12 Zeitdifferenzen (zwischen Master- und Nebenstation) gemessen, so müssen in der kombinierten Navigationslösung die Koordinaten der Nutzerposition in den drei Raumrichtungen (x, y, z) und der Uhrenfehler im GPS-Empfänger 10 bestimmt werden, so dass mindestens vier Messungen zur Bestimmung der Unbekannten benötigt werden. Dabei muss mindestens eine GPS-Messung verfügbar sein, da der auf die GPS-Referenzzeit bezogene Empfänger-Uhrenfehler nur mit Hilfe einer GPS-Messung bestimmt werden kann. Werden mit dem LORAN-C Empfänger Schrägenfernmessungen (Rho-Rho-Mode) gemessen, so muss zusätzlich der Empfänger-Uhrenfehler bezogen auf die LORAN-C Referenzzeit bestimmt werden. In diesem Fall müssen zur Bestimmung der fünf Unbekannten (x, y, z, Δt_{GPS} , Δt_{LORAN}) fünf Messungen verfügbar sein, von denen mindestens eine GPS-Messung zur Bestimmung des Empfänger-Uhrenfehlers bezogen auf die GPS-Referenzzeit und eine LORAN-C-Messung zur Bestimmung des Empfänger-Uhrenfehlers bezogen auf die LORAN-C-Referenzzeit vorliegen müssen.

[0034] Wie oben dargelegt, bietet das hier beschriebene Konzept zur Verknüpfung der Signalverarbeitung eines LORAN-C Empfängers und eines GPS-Empfängers die Möglichkeit zur Ausnutzung von ausgeprägten Synergieeffekten. Zum einen bietet das auf der Basis des LORAN-C Systems implementierte EUROFIX-System die Möglichkeit einer europaweiten Versorgung mit DGPS-Korrekturdaten und somit eine beträchtliche Erhöhung der Genauigkeit der GPS-Positionsdaten. Andererseits erhöht die Verknüpfung der LORAN-C- und der GPS-Positionsdaten die Verfügbarkeit für die kombinierte Positionsausgabe und eröffnet somit die Möglichkeit, die Anforderungen bestehender Navigationssysteme zu einem sehr günstigen Preis und mit einem vergleichsweise niedrigen Aufwand zu erfüllen.

[0035] Die Ausfüllung des hier beschriebenen Konzeptes ist sowohl mit separaten GPS und LORAN-C-Empfängern denkbar als auch in einer integrierten Variante. Der integrierten Lösung kommt jedoch aufgrund der zu erwartenden Massenanwendungen eine besondere Bedeutung zu, da sich sowohl mit modernen GPS-Empfängerkonzepten als auch mit neuesten digitalen Rundfunk-Empfängerkonzepten sehr kostengünstige und stark miniaturisierte, kombinierte GPS/LORAN-C Empfänger entwickeln lassen. Ein besonderes Optimierungspotential ergibt sich, wenn die gesamte Signalverarbeitung für den GPS- und den LORAN-C-Empfängerzweig inklusive der verknüpfenden Algorithmen auf einem ausreichend leistungsfähigen μ -Prozessor implementiert werden. In diesem Fall würde sich der Aufwand und die Komplexität in den GPS- bzw. LORAN-C-Frontends drastisch reduzieren.

als auch Sender auf Satelliten enthält.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Sender am Boden elektromagnetische Signale im Langwellenbereich, vorzugsweise im Bereich von 50 bis 500 kHz, aussenden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Sender auf Satelliten elektromagnetische Signale im Mikrowellenbereich, vorzugsweise im Bereich von 500 bis 6000 MHz, aussenden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass für mindestens einen Referenzort bekannter Position aus Signalen von Sendern der Gruppe die Position des Referenzortes berechnet wird, die Positionsdivergenz zwischen der so berechneten Position und der bekannten tatsächlichen Position des Referenzortes bestimmt wird, und dass dem Signal mindestens eines Senders der Gruppe eine Information hinzugefügt wird, welche eine Korrektur der Positionsdivergenz erlaubt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionsbestimmung zu mindestens einem zurückliegenden Zeitpunkt bei der aktuellen Positionsbestimmung berücksichtigt wird, und zwar vorzugsweise mit um so größerem Gewicht, je kürzer der Zeitpunkt zurückliegt und/oder je präziser die Positionsbestimmung beim zurückliegenden Zeitpunkt war.
6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, enthaltend
 - einen ersten Empfänger (10) für die Signale einer ersten Teilgruppe der Sender,
 - einen zweiten Empfänger (12) für die Signale einer zweiten Teilgruppe der Sender,
 - eine Datenverarbeitungseinheit (14) zur Bestimmung der Position aus den vom ersten und/oder vom zweiten Empfänger übermittelten Daten.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Patentansprüche

1. Verfahren zur Positionsbestimmung mit Hilfe der Laufzeitunterschiede von Signalen, die von einer Gruppe von Sendern bekannter Position zu bekannten Zeiten ausgesandt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gruppe der Sender sowohl Sender am Boden

- Leerseite -

Fig. 2

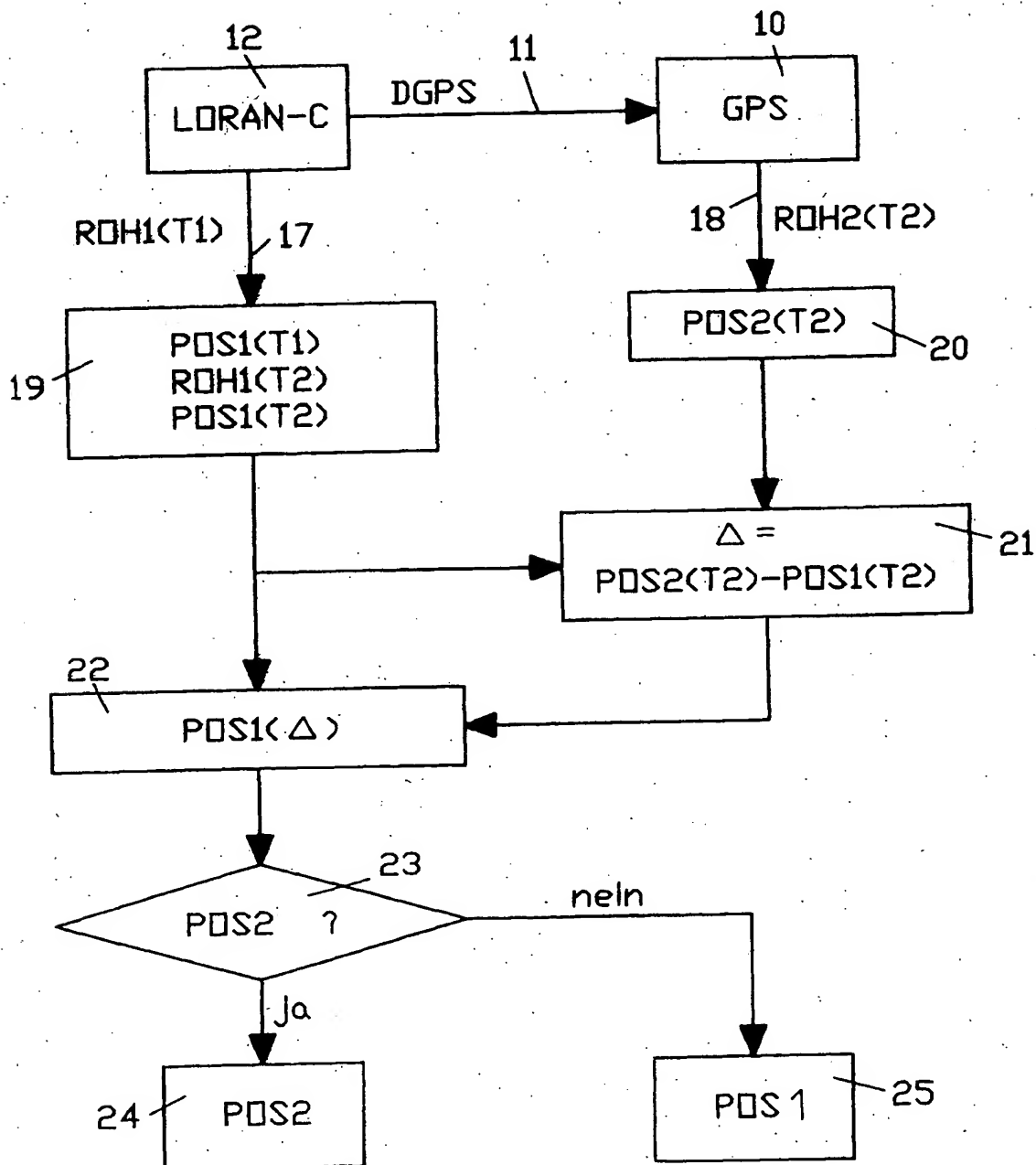


Fig.1

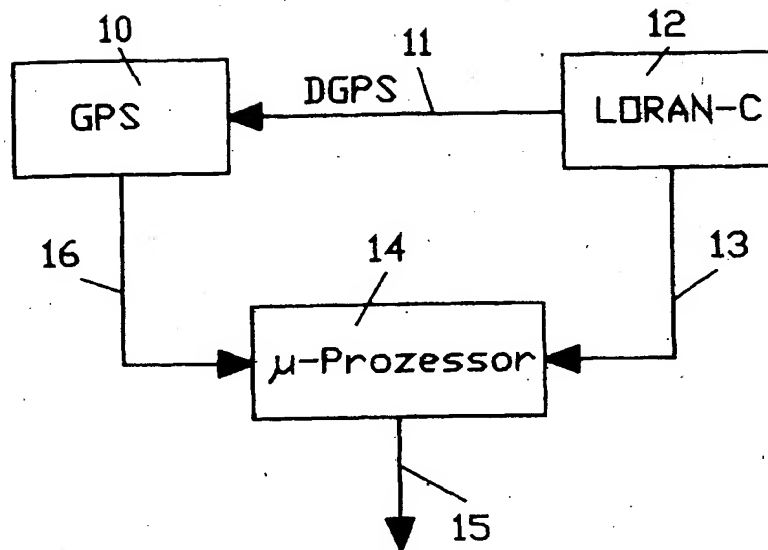


Fig.3

